

オブジェクトベース一貫モデリングに基づく 計算工学的シミュレーション・アーキテクチャとその実現支援環境

畠山正行
茨城大学工学部情報工学科

本論文の目的は、我々がオブジェクトベースと称しているモデリング法及びシミュレーションアーキテクチャを完全に(または理想的に)実現する必須条件が以下のものであることを論証することである。(1) オブジェクトベース一貫モデリング&シミュレーション・アーキテクチャを実現方法論とした基礎理論体系、(2) オブジェクトベース・シミュレーションを起動・駆動させるための基盤機構、(3) オブジェクトベースを実際に実現させる必須条件としての支援環境群(生成、リポジション、駆動、表現、操作&制御等の各支援環境)及び、(4) モデリング及びシミュレーションに対する実施作業方法(論)・表記法・技術・技法・実現例データベースやドキュメント等を含めたコンピューティング環境。本論文では上記の中から特に支援環境群の必須性を論証することを主眼とする。上記の実装された支援環境はそれだけで単独に存在するわけではなく、対象世界の最もリアリスティックなシミュレーションをコンピュータ上で再現するオブジェクトベースのモデリング&シミュレーションアーキテクチャに基づくいくつかの実際的な方法論(フレームワーク、考え方、実現例)をその背景として持っていることが必須である。つまり、本研究の主旨はオブジェクトベース・シミュレーションアーキテクチャとセットになったの実用化された統合化支援環境の提唱である。

A Computational Simulation Architecture Based on Object-based Integrated Modelings and Their Drive Support Environments

Masayuki Hatakeyama
Department of Computer and Information Sciences, Ibaraki University

The aim of the present study is to find out and verify the essential conditions to realize the Object-based simulations and their drive support environments that will realize and support the actual simulation drive. We can describe that the following four conditions are essential: the Object-based simulation architecture along with the Object-based modeling methodology, the fundamental mechanism for the Object-based modeling&simulations, the support environments to generate/test&revise/drive, and the integrated computing system together with the modeling&simulation methodology or architecture. As the conclusion, the above described four conditions, the Object-based simulation architecture, the fundamental drive mechanism, the support environments, and the computing environments are needed as the one set of the conditions to realize the Object-based simulations. We are just realizing this simulation system.

1 はじめに

研究動機と目標：自然現象の高度なシミュレーションの実現

我々は自然現象(流れを例題として)の高度なシミュレーションを実現する新しいモデリングとプログラミングの方式として、オブジェクト指向(但し、理由あってオブジェクトベースという用語を用いる(以下ではOBと省略))に基づく新しい柔軟な計算方式の開発とその実現を行ってきている [2][3][4][5][17]。

本研究の目指すシミュレーションにおいては対象世界の“もの”がそのまま“ものオブジェクト”として再現シミュレーション出来、未知の現象がもし含まれていれば、必ず再現されて出現するような高度なものを目指している [1][3][5][10][12]。しかし、その様なシミュレーションは現状のOSやプログラム言語をそのまま用いるのみでは容易に実現しない。

システムの革新方針

我々はまず、根本的な原因として対象世界のモデリング過程における従来方式による形式的方法論の不足を指摘し、同時にそれを解決すべき方法論を提唱した [12]。それは、

1. OBモデリング&シミュレーション方法論
“もの”に一对一対応し、人間のモデリング思考の形態に近い明示的なモデリング方法論
2. 一貫モデリング過程方法論
対象世界に発し、シミュレーション駆動に至るまでの全過程一貫したモデリング過程の方法

の三点を「同時に満たす」ようなモデリング過程を実現することである。「高度なシミュレーション」はその様なシミュレーション条件下では未知の現象がもし内蔵されていればそれが自然に出現する、あるいは創発現象が出現する可能性が従来型のシミュレーション手法よりもはるかに高く、しかも自然に結果として(つまりその現

象を予測し、現出するようにプログラムしていても)現出すると考えられる。

システム構築の方針と実装経過

そのようなモデリング過程とその結果としてのシミュレーションを忠実に実現するために、その諸障害の主要な根元である実装モデリング(プログラミング)段階におけるモデリングパラダイムギャップを埋めることがまず第一に必要な [12]。そのために我々は、この実装モデリング段階において“もの”と一对一対応になるモデル構築と実装及びその駆動を実現する基盤的な機構として、データ構造とそれに対応するメソッドを常時一セットにすることを可能にするオブジェクトベース機構を提案し、これを実現した [2],[17]。この実現により、まだ充分に完全とは言えないまでもオブジェクトベース一貫モデリング過程とその成果としてのオブジェクトベースシミュレーションが可能になった [3][13]。またその実現の典型例を示してその実用性と有効性を実例をもって実証した [5][11][16]。更には、偏微分(・重積分)方程式を支配方程式とする物理現象においても、準オブジェクトベースモデリング過程が実現できることも示した [13]。以上の研究の結果から、シミュレーションの実現過程に関する明示的、体系的かつ形式的方法論の提唱と実現の方針及びその実装設計の概要は既に示されている。

シミュレーションシステム完成の必須条件

しかし、これをオブジェクトベースシミュレーションシステムとしてそのアーキテクチャを確立し、総合的なシミュレーションシステムとして実用化するのには解決必須の問題がまだ残っている。本論文においてはその解決必須の問題を提示すると共に、オブジェクトベース一貫モデリング論を、次の第一歩であるオブジェクトベース一貫モデリング&シミュレーション過程を実用システムとして実際に実現するための条件を数多く考察する。特に、上記の目標を実現するための対象世界のシミュレーションオブジェクト群の側と、それを実行・実現するシステム側

の構成をどうすべきであるかを考察した。後で詳述するが、例えばオブジェクトのグラフィックス表現に関する情報とその画像生成・表示に関する処理はどちら側がどのような相対的な役割及び関係で分担・実装すべき設計にして記述し処理すべきか、というような問題の考察である。

第4章で詳述するように、必要な各種機能を「総合的な支援環境群」としてシミュレーションオブジェクト群システムの外側に実現する方式が適当であると判断した。

2 OB シミュレーションを「外部から支援」するシステムの必然性の原理

まずOBシミュレーションの実現過程において最も重要な点は、前章に挙げた二つの形式的方法論、即ち対象世界の“もの”モデリングと一貫モデリング過程の実現を貫くこと、である。少し詳しくいうと、分析モデリング段階で元々あった“もの”のモデル化されたものに表現されている要素のみを実装する方針を、設計・実装モデリング段階のオブジェクトベースモデルに対して行うこと、である。それは“もの”単位のモデルに入っていなかった(動的、静的)要素の実装は行わないという条件を満たしつつの変換(モデリング)を行うこと、である。つまり、モデルの単位“もの”のモデル化(オブジェクトベースモデリング)においては、概念モデリング段階[12]以降のモデル内には「なにものも付け加えず、なにものも取り除かないことを誓い」、変換(モデリング)を実行しなければならない。つまり、概念モデルにおいてモデル内に存在しなかったものでシミュレーションに必要なものはすべてシミュレーションオブジェクト外のどこかに実装すべきであるということになる。しかし、プログラミング言語を用いた各オブジェクトのプログラム記述の段階(再現モデリング段階)[12]においてもその「内部表現においては」コンピュータの実装に関する記述は避けなければならない。言い換えれば各オブジェクトに実装すべき要素は各オブジェクトに元々

内蔵されていたもののみである。それ以外は実装してはならない、徹底的に排除すべきである、というのが我々の考えである。これに反する典型的な例はオブジェクト内にXウィンドウ上のグラフィックス表現関数(たいていは機種依存のライブラリーか関数である)をオブジェクト内に記述することなどである。但し、抽象化されたレベルで、しかも対象世界内に元々存在する機能なりオブジェクトなりの内部に抽象的に引用する関数やシステムコールは構わない。悪い例としては

1. OSの静的・動的記述を直接記述する(システムコール)
2. コンピュータデバイスに関する記述(デバイスドライバ)
3. グラフィックス表現等の入出力の記述

等である。

これを裏返すと、オブジェクトに実装される要素以外のシミュレーション実現のために必要な要素はオブジェクト外のどこかに別の形で実装すべきである、ということになる。このルールを我々は

「対象世界と(広義の)環境が完全分離したモデリングと実装」

と称しており、シミュレーションプログラム実装におけるオブジェクトモジュールの構成原理としている。このようなモジュール構成を取る理由は

1. モデリング論からいってシミュレーションプログラム内にはコンピュータシステム及び諸環境(後述)に関することは記述すべきではない。
2. 汎用性が生まれる。他のコンピュータシステムに移植し易いと共に、ネットワーク上の異機種分散コンピューティング駆動時の相互接続性、及びシミュレーション時の種々の柔軟性のメリット(原理的にはオブジェクトベースならば必然的に保証される)が自然に引き出される。

であるが、1. の理由がその本質的な部分を占める。理由の 2. は 1. の実現により自然に成果として導出される当り前の結果論として受け止めるべきである。

以上の要請を実現するには、各オブジェクト内に実装されてはならないとされたところの“もの”オブジェクトを駆動させるのに必要なアプリケーションレベルのプログラムは何を何処にどの様に実装するべきなのか？—その回答が支援環境を含んだ総合的なコンピューティング環境の一種としてのシミュレーション環境(その構成は本論文頭書の要約に挙げた4項目)である。

以上の様な方式でシミュレーションを実現する理由は、シミュレーションすべき対象が自然現象またはそれに準ずる工学的な対象(ここでは人工的に組み合わせられて設計・構築された物質的な自然現象を指す)であることにある。つまり、我々の対象が「元の現象の再現」シミュレーションであることがその根本の事情にある。

3 シミュレーション環境の提唱

上記の様に、我々はその必要とする機能や構造を考察し、実システムの構築を通してその実現すべき複数の外部からの支援機能システムのあるべき姿とアーキテクチャを明らかにしてきた。そこで我々は高度なシミュレーションに必要な実現の条件としてのシミュレーションオブジェクトを外部から支援するシステムを総称としてシミュレーション「環境」と定義して呼ぶことにする。そしてそのシミュレーションに必要とされる支援環境の種類と機能を明らかにし、高度なシミュレーションを実現するためのシミュレーションオブジェクトの実現、支援環境の機能と構成、そしてシミュレーションのアーキテクチャをトータルシステムとしての試みとして「セットとして」提唱するものである。

最後の結論の章ではこの構築中のシステムが、対象世界のシミュレーション(支援)環境として構築されることは「計算工学」として計算力学を含む新たなシミュレーションを実現するための総合的な工学として位置づけられることを述

べる。

4 支援環境の機能

オブジェクトベースシミュレーションに必要な支援環境機能に必要な記述を以下のように5項目に分けて記述し、それに必要な基盤機構や対応する支援環境を分類・配置した。以下では紙幅の制限故に、概念考察・モデリング・設計・実装の経過をすべて省略し、結果のみを記す。その出発点は、「必ず”もの”オブジェクト単位で支援する」ことである。まず、基盤となる機構はオブジェクトベース(OB)機構[2][17]、オブジェクトベースリポジトリ(OBR)機構[15]、オブジェクトリアリティ・インターフェイス(ORI)機構[6]、OB表現機構[8]、OB操作・制御機構[9]である。

支援環境としてはオブジェクト形状作成エディタを含む「オブジェクト生成支援環境」[7][14]、試作オブジェクトの各種のテストと改訂を繰り返す「テスト&改訂支援環境」[15]、シミュレーションの駆動全般を支援する「シミュレーション駆動支援環境」[11][16]、再現シミュレーションされた世界をグラフィック表現したり操作したりするための表現及び操作支援環境[8][9]である。

1. シミュレーションオブジェクトの作成(生成)支援機能。
対象世界の個々の要素をモデル化単位であるオブジェクトを単体で駆動できる形で定義・記述・起動できるオブジェクトの生成を支援する。
→→ OBR(機構)、生成支援環境
2. オブジェクトの「オブジェクト単位での」格納・管理・起動・テスト駆動機能。
多様なオブジェクト単位での、また、オブジェクトのカケラ、複合オブジェクトとその要素オブジェクト、対象世界単位、基底世界単位、等でのシステムティックな格納・管理・起動。オブジェクト内部の構成要素(属性、データ構造、メソッド、インター

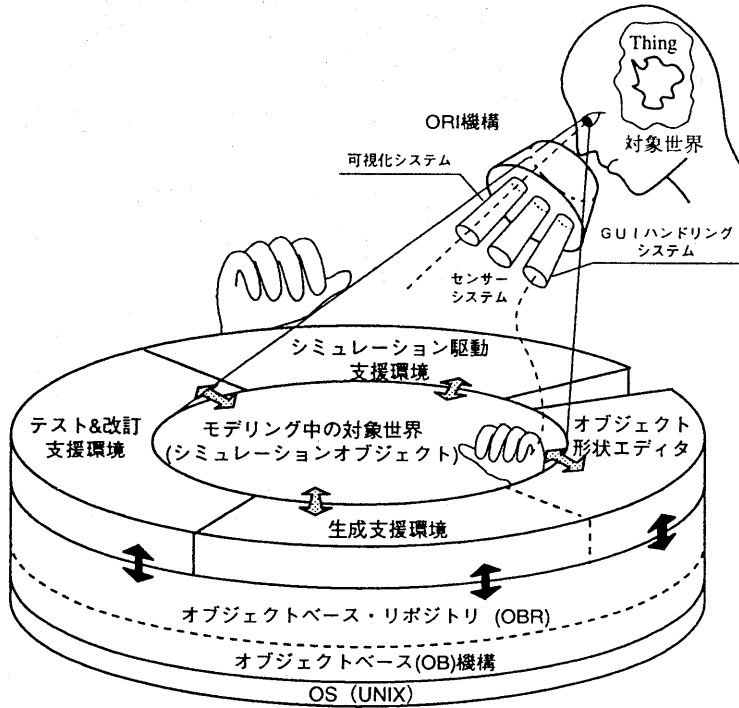


図 1: OB シミュレーションの基盤機構と支援環境全体概念図

- フェイス) やオブジェクト間の相互関係を任意に組替えられ、組替え後にそのまま格納・管理できると共に、起動できる機能。
→ **OBR(機構)**、**テスト&改訂支援環境**
3. 本来オブジェクト指向 OS 等がサポートすべきであるが、まだ **OB** シミュレーションに合うようにはサポートされていない機能の肩代り機能。
→ **OB 機構**、**OBR 機構**、**ORI 機構**、**OB 表現機構**、**OB 操作・制御機構**
 4. シミュレーションの「オブジェクト単位での」起動と駆動・制御・操作、オブジェクト間の相互作用を駆動する機能。
対象世界の要素及び全体を「もの」の感覚で起動し・動かし、操作し、全てのハンドリングを可能にする機能。
→ **ORI 機構**、**OBR(機構)**、**OB 機構**、**生成支援環境**、**駆動支援環境**、**表現及び操作支援環境 (GUI)**
 5. オブジェクトベース世界の各オブジェクトとエンドユーザとの相互作用をインターフェイスする機能 (GUI 直接操作やグラフィックス表現機能を含む)。
→ **ORI 機構**、**OB 表現機構**、**OB 操作・制御機構**、**表現及び操作支援環境**、**駆動支援環境**
- 例えば、オブジェクトベース機構無しには“ものオブジェクト単位”の取扱は極めて困難である。オブジェクト生成支援環境無しには“ものオブジェクト”の生成はそのモデリング過程内の作業において“もの”のイメージを伴わせることが困難であるし、殆ど従来の手続き型のシステム以外の生成をすることは難しいと言える。テスト&改訂支援環境の支援無しには従来よりもは

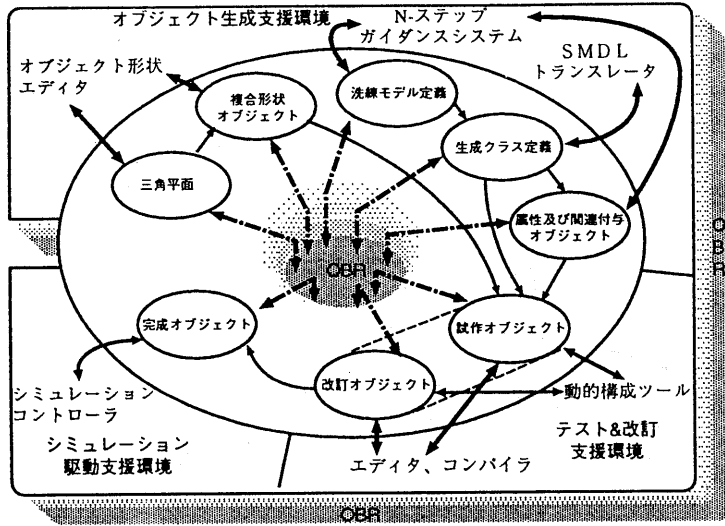


図 2: オブジェクト・ライフサイクルとその支援環境

るかに複雑な試作シミュレーションオブジェクト世界のテスト&改訂のためのトライ&エラーの効率よい作業は思いもよらない。表現支援環境無しには“もの”単位での取扱における柔軟な対象世界の直接ハンドリングやグラフィックス表現は不可能と言ってよい。共通のリポジジョン支援環境の基盤である OBR 機構無しでは、構築途上の OB オブジェクトを効率的にかつ自在に格納・管理・起動は不可能に近いし、ORI 機構とその実現環境無しには表現支援環境及び操作・制御支援環境はスムーズには構築できないし、基本機能自体も低いレベルにならざるを得ないであろう、と確実に推定される。以上のことから重ねて支援環境が必須であることが論証された、と言えよう。

以上の5項目の記述において OB 機構は全ての基盤機構及び支援環境の基盤として用いられているので特に記す必要の無い限り省力した。

最後に支援環境を構築する副目的として、シミュレーション駆動している対象世界を如何に柔軟にハンドリング出来るか、というテーマ(目標)がある。これに対しては実験や実世界で出来ることは少なくとも全て出来るようにし、現実

の世界における実験等では再現出来ないことのいくつかも仮想世界である再現シミュレーション世界内では実現したい。例えば、銀河系の超長期的な再現シミュレーション等である。つまり、「コンピュータシミュレーションでなくてはできない実験(数値実験)」が実現できなければ、コンピュータシミュレーションの価値は半減する。

各支援環境の役割や相互補完関係の理解を助けるために、図1において上記の各種基盤機構、各種支援環境全体の概念図を示すと共に、図2においてオブジェクトが生成されシミュレーション駆動されるまでのオブジェクトライフサイクル [14][15] とその支援環境を用いたオブジェクト作成作業を示す。

5 OB 一貫シミュレーション環境の実現の現状

オブジェクトベースシミュレーションに必要な基盤機構は現状ではある程度出来ており、構築作業中でもある。基盤となる機構であるオブジェクトベース (OB) 機構は2年以上前から稼働中で、現在は新しい OB 機構も駆動を開始し

ている。オブジェクトベースリポジトリ (OBR) 機構は現在主要部が駆動開始するところであり、残りのサブシステムを構築中である。オブジェクトリアリティインターフェイス (ORI) 機構そのものは稼働中である。ORI 機構を基礎にした試験的なメディア (外部ユーザと OB 世界との種々のコミュニケーションデバイス) の作成と組み込み駆動は成功した。OB 表現機構は視覚化機構としては「人間の目の機能・機構」を実装中であり、近々稼働予定であるし、可視化機構は昨年を試作的なシステムを本格化する予定である。OB 操作・制御機構に関しては、GUI を用いた機構 [9][11] 及び制御システムを含めた一貫駆動支援環境 [11] を改良計画中である。

支援環境としてはオブジェクト形状エディタを含む「オブジェクト生成支援環境」が詳細設計から実装にかかりつつあり、秋には一部が稼働予定。オブジェクトの各種のテストと改訂を繰り返す「テスト&改訂支援環境」は夏には駆動開始予定である。シミュレーションの駆動全般を支援する「シミュレーション駆動支援環境」は2年前からの駆動経験から、現在、新規に考案された機構が駆動を開始しており、機能や性能テスト、種々のマシンに移植作業中である。以上から分かるようにオブジェクトベースシミュレーションのための支援環境は本年の夏前後に稼働を開始し、テスト・評価・改訂を経て、冬には各支援環境が本格的に稼働開始するであろうと予想される。各基盤機構や支援環境の完成から稼働に移るに連れて、各支援環境の関係を強めて行き、統合化支援環境として構築されるであろう。その稼働は1996年夏(1年後)を予定している。

6 結論

本論文の目的は、オブジェクトベースという従来より高度なシミュレーションの可能性を十分に秘めているシミュレーション実現方式においては、高度なシミュレーション実現とオブジェクトの汎用性を狙っており、そのためにシミュレーションの要素であるオブジェクトには本来

の対象世界内に元々存在したもののみ実装し、その他は全て種々の支援環境に全面的に任せるべきであるというシミュレーションアーキテクチャとその実現支援環境システムが適切であることを実証することであった。その結論は最終的には実際に実装中の支援環境が全面的に駆動開始した後に実システムによって実証・検証される事項ではあるが、現段階においても、理論的な考察からその考え方とシステム構築の正当性は立証できたかと思う。

次に計算工学的な観点 [18] から考察したい。計算工学的な観点とは、広義のものを含めたシミュレーションを実現するために計算機内に実現されるべきトータルなシステムを構想・設計・実装(構築)・運用するための総合的な工学である。その様な観点からいえば、現在構築中のシミュレーションシステムは、シミュレーションのモデル化の段階からシミュレーション駆動及びデータ格納・管理までの全ての作業をサポートするシステムであり、代数モデルの1つとして位置づけられるオブジェクトを基本とする一貫したモデリングとアーキテクチャに支えられた体系的な理論的背景も充分にあることから、本システムは計算工学的システムであると言える。更には高度なシミュレーションの必須条件である、(1) オブジェクトベース一貫モデリング&シミュレーション・アーキテクチャを実現方法論とした基礎理論体系、(2) オブジェクトベース・シミュレーションを起動・駆動させるための基盤機構、(3) オブジェクトベースを実際に実現させる必須条件としての支援環境群(生成、リポジジョン、駆動、表現、操作&制御等の各支援環境)及び、(4) モデリング及びシミュレーションに対する実施作業方法(論)・表記法・技術・技法・実現例データベースやドキュメント等を含めたコンピューティング環境、が計画・設計され着々と確実に実現に向かっている。以上を総合すれば、本シミュレーションシステムは計算工学の代表的なシステムの一例として位置づけることが適切であると結論し、批判を待ちたい。

謝辞

本研究の基盤機構、支援環境に関する議論及び実現は全て研究室の学生諸君及び共同研究の方との研究及び作業の賜である。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] M. Hatakeyama, I. Kaneko, H. Uehara, "Numerical Wind Tunnel Simulations for Arbitrarily Complex and/or Moving Test Bodies Based on the Object-Base Architecture and GUI", Proceedings of the 5th International Symposium on Computational Fluid Dynamics-Sendai, pp.1-279~1-284, Aug.31-Sep.1, 1993.(及びカラー口絵、同書 vol. 1 巻頭)
- [2] 畠山正行、金子 勇、「オブジェクトベース機構：オブジェクト指向一貫モデリング過程論に基づくシミュレーションの実現」、情報処理学会第 17 回プログラミング研究会研究報告、Vol.94, No.49,pp.33-44,1994 年 6 月 3 日。
- [3] 畠山正行、金子勇、「オブジェクトベース機構に基づく数値シミュレーション」、情報処理学会第 51 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会報告、Vol.94, No.51, pp.1~8, 1994 年 6 月 17 日。
- [4] 畠山正行、横澤謙二、「オブジェクト指向に基づく偏微分方程式の数値シミュレーション」、情報処理学会第 51 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会報告、Vol.94, No.51, pp.9~16, 1994 年 6 月 17 日。
- [5] M. Hatakeyama, I. Kaneko, H. Uehara, "DSMC Analyses for Highly Complicated and Interactive Flow Based on the Object-Based Mechanism and GUI Environments", 19th International Symposium on Rarefied Gas Dynamics, Oxford, England, July 25-29, 1994.
- [6] 上原 均、畠山正行、「Object Reality Interface 機構モデルの概念設計と実装例」、第 57 回情報処理学会ヒューマンインターフェイス研究会研究報告 Vol.94, No.96 垂吹 D 17-24, 1994 年 11 月 10 日。
- [7] 加藤木和夫、畠山正行、小林秀行、「オブジェクトベース・リポジトリを用いたオブジェクト生成支援環境」、第 101 回情報処理学会ソフトウェア工学研究会研究報告、Vol.96, No.44, pp.9-16, 1994 年 11 月 18 日。
- [8] 畠山正行、磯田勝也、「等高線表示を用いたオブジェクト指向グラフィックス表現」、情報処理学会第 50 回全国大会、講演論文集 1995 年 3 月 17 日。
- [9] 畠山正行、長谷川好則、「オブジェクトベース世界の直接生成・接触・操作機構の研究」、情報処理学会第 50 回全国大会、講演論文集、pp.5-73~5-74、1995 年 3 月 17 日。
- [10] M. Hatakeyama, I. Kaneko, H. Uehara, M. Naoi, N. Takimoto, "An Agent Oriented Computing Model,— Concept Design, Realization, and Applications to Computational Mechanics —", International Conference on Computational Engineering Science (ICES)'95, Hawaii, USA, July 30-August 3, 1995. (Proceedings in printing)
- [11] M. Hatakeyama, K. Akita, Y. Hasegawa, N. Takimoto, M. Watanabe, "Object- Based Numerical Wind Tunnel System with Integrated Support Environments", International Conference on Computational Engineering Science (ICES)'95, Hawaii, USA, July 30-August 3, 1995. (Proceedings in printing)
- [12] 畠山正行、「高度なシミュレーションのためのオブジェクトベース一貫モデリング過程論とその駆動支援環境」、第 1 回情報処理学会数値モデル化と問題解決研究会報告、Vol.95, No.44, pp.33-40, 1995 年 5 月 18 日。
- [13] 畠山正行、「流れの方程式のオブジェクトベース一貫モデリングと直接シミュレーションの実現」、情報処理学会第 5 6 回ハイパフォーマンスコンピューティング研究会報告、Vol.95, No.56, pp.19-26, 1995 年 6 月 1 日。
- [14] 加藤木和夫、畠山正行、小林秀行、「シミュレーション向けのオブジェクト生成支援環境の設計と実装」、オブジェクト指向'95 シンポジウム、情報処理学会シンポジウム論文集、Vol.95, No.3, pp.205-212, 1995 年 6 月 2 日。
- [15] 小林秀行、畠山正行「オブジェクトベース・リポジトリの概念設計と実装」、オブジェクト指向'95 シンポジウム、情報処理学会シンポジウム論文集、Vol.95, No.3, pp.309-316, 1995 年 6 月 2 日。
- [16] M.Hatakeyama, M.Watanabe, N.Takimoto, "Object-based Navier-Stokes Numerical Wind Tunnel", Proceedings of the 6th International Symposium on Computational Fluid Dynamics-Nevada, pp.-, Sep.4-Sep.8, 1995.
- [17] 金子 勇、畠山正行、「オブジェクトベースモデルに基づくシミュレーション駆動機構の構築」、第 回情報処理学会プログラミング研究会報告、Vol.95, No.21, pp.1-8, 1995 年 6 月 16 日。
- [18] 「ワークステーションで作る数値情報処理環境 (III) オブジェクト指向の計算流体工学の試み」、数値流体力学 (日本数値流体力学会誌)、第 2 巻、第 3 号、pp.59-76, 1994 年 4 月号。